

Analiza napetosti v cevovodu kot konstrukcijskem elementu hidroelektrarne

Stefan Čulafić^{1,*} – Taško Maneski² – Darko Bajić¹

¹Univerza v Črni gori, Fakulteta za strojništvo, Črna Gora

²Univerza v Beogradu, Fakulteta za strojništvo, Srbija

Analiza napetosti v tlačnih cevovodih je pomembna tako s teoretičnega kot tudi s praktičnega vidika. Napetostnega stanja v posameznih elementih cevovoda, kot so odcepi, ni mogoče izračunati analitično in zato je potreben pristop s kombinacijo numeričnih in eksperimentalnih metod. Pri analizi napetosti nastopi težava, da eksperimentalne študije niso izvedljive v realnih pogojih.

Članek obravnava problem analize napetosti v cevnem odcepu kot najbolj kompleksnem delu cevovoda, ki ne dopušča analitične obravnave. Avtorji so opravili numerično analizo po metodi končnih elementov (MKE) za realni cevni odcep in za model odcepa. Nato so bile opravljene še eksperimentalne raziskave na modelu cevne odcepa v laboratorijskih pogojih, saj eksperimentalna študija v realnih pogojih na cevnem odcepu ni bila izvedljiva.

Najprej je bila opravljena numerična analiza napetosti po MKE za realni odcep pri različnih vrednostih notranjega tlaka. Ugotovljene so bile vrednosti napetosti v kritični točki odcepa. Nato je bila opravljena še numerična analiza po MKE za model odcepa. Zabeležene so bile vrednosti napetosti v opazovani kritični točki na odcepu zaradi primerjave, ali numerična analiza realnega odcepa in modela odcepa daje rezultate za napetost v opazovani točki, ki so primerljivi v okviru sprejemljive natančnosti. Omeniti je treba, da je model odcepa postavljen na kotlovski enačbi po teoriji podobnosti na osnovi enakosti napetosti za brezmomentne lupine. Narejena je bila tudi primerjava za določitev ujemanja laboratorijskih eksperimentalnih preizkusov modela odcepa z rezultati predhodnih numeričnih analiz. Rezultati so potrdili veljavnost kotlovske enačbe, na osnovi katere je bil izdelan model odcepa. To pa tudi pomeni, da so rezultati eksperimentalnih študij na modelu odcepa veljavni za realni odcep, torej da je napetostno polje v pravem odcepu mogoče opazovati posredno na modelu.

Rezultati predstavljene raziskave so:

- Relacija med napetostmi v opazovanem predelu in notranjim tlakom je zelo zadovoljivo linearna v območju elastičnosti. Napetosti zaradi upogibnega momenta je tako mogoče zanemariti. Poleg tega se odcep v območju elastičnosti vede kot membrana in kotlovska enačba, na osnovi katere je bil postavljen model odcepa, je zato pravilna.
- Določena je mejna vrednost notranjega tlaka, pri kateri napetosti v kritični točki odcepa presežejo območje linearnosti in se vrednost napetosti z dodatnim povečanjem tlaka ne povrne na nič.
- Varnostni faktor ne povzroča nelinearne odvisnosti med napetostjo in notranjim tlakom v odcepu pri realnih obratovalnih pogojih.

Najpomembnejši prispevki članka so:

1. Na osnovi numerične analize realnega odcepa in modela odcepa po MKE ter eksperimentalnih raziskav na modelu odcepa je bilo določeno napetostno stanje odcepa, ki je odvisno od notranjega tlaka. To je teoretični prispevek na področju odpornosti konstrukcij in mehanike deformabilnih teles.
2. Potrjeno je bilo, da je odcep kot element cevovoda mogoče obravnavati kot membrano z zelo zadovoljivo natančnostjo, kar predstavlja pomemben rezultat po teoretični plati.
3. Iz praktičnega vidika je pomembno spoznanje, da je s preizkusom modela mogoče določiti vrednost notranjega tlaka za konkreten realni cevovod, pri kateri izgine linearna povezava med napetostmi in notranjim tlakom. To pomeni, da se pri manjšem povišanju notranjega tlaka signifikantno povečajo napetosti v opazovani točki odcepa. Varnostni faktor se določi za vsak primer posebej.

Ključne besede: cevovod, odcep, hidroelektrarna, analiza napetosti, membrana, mejni tlak, varnostni faktor